聚集信息素和寄主植物挥发物对光肩星天牛和星天牛的引诱作用

朱 宁[1], 张冬勇[2], 吴利平[3], 胡 琴[1], 樊建庭[1,*]

(1. 浙江农林大学林业与生物技术学院, 生物农药高效制备技术国家地方联合工程实验室, 杭州 311300;
2. 浙江省常山油茶研究所, 浙江衢州 324200; 3. 浙江省建德市森林病虫防治检疫站, 杭州 311600)

摘要:【目的】光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 和星天牛 *A. chinensis* 经常混合发生,危害共同的寄主,且共享相同的聚集信息素。本研究旨在评价聚集信息素和寄主植物挥发物对这两种星天牛的引诱作用。【方法】通过取食面积法,测定了两种星天牛对复叶槭 *Acer negundo*、青皮垂柳 *Salix babylonica* 和苦楝 *Media azedarach* 3 种寄主枝条的室内取食偏好性;采用动态顶空吸附法结合气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)分析了寄主植物挥发物成分;通过在浙江余姚和慈溪的野外诱捕试验,分析了聚集信息素和植物挥发物对两种星天牛的诱捕效果。【结果】室内选择性和非选择性取食试验结果都显示,光肩星天牛最喜食的寄主植物是复叶槭,其次是青皮垂柳,再次是苦楝;而星天牛对这 3 种寄主植物的选择顺序与光肩星天牛相反,最喜食苦楝,其次是青皮垂柳,再次是复叶槭。寄主植物挥发物成分中,以萜烯类和芳香族化合物居多,每种寄主挥发物都有几种特有的成分,且不同寄主植物的挥发物中多种成分之间存在显著性差异。野外林间诱捕试验结果显示,聚集信息素与苦楝混合配方 MK(4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛 + 莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯)、聚集信息素 M(4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛)、苦楝配方 K(莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯)和柳树配方 L(壬醛)都同时诱捕到了光肩星天牛和星天牛。其中,聚集信息素与苦楝混合配方 MK 对光肩星天牛和星天牛的诱捕效果最好,都表现出比单独使用信息素或者植物挥发物更高的诱捕效果;聚集信息素诱捕到的光肩星天牛和星天牛中雌虫比例更高,而植物挥发物诱捕到的光肩星天牛和星天牛中雄虫比例更高。【结论】本研究进一步证实了聚集信息素 4-庚氧基丁醇和 4-庚氧基丁醛是光肩星天牛和星天牛共享的信息素;同时,壬醛、莰烯、顺-3-己烯-1-醇、罗勒烯和 β-石竹烯是光肩星天牛和星天牛共享的植物挥发物。聚集信息素和植物挥发物联合使用可以应用于光肩星天牛和星天牛的林间监测技术。

关键词: 光肩星天牛; 星天牛; 取食偏好性; 信息素; 植物挥发物; 诱捕

中图分类号: Q968 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2017)04-0421-10

Attractiveness of aggregation pheromones and host plant volatiles to *Anoplophora glabripennis* and *A. chinensis* (Coleoptera: Cerambycidae)

ZHU Ning[1], ZHANG Dong-Yong[2], WU Li-Ping[3], HU Qin[1], FAN Jian-Ting[1,*] (1. National Joint Engineering Laboratory for Efficient Preparation of Biopesticides, School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China; 2. Zhejiang Changshan Oil-tea Research Institute, Quzhou, Zhejiang 324200, China; 3. Jiande Forest Pest Control and Quarantine Station of Zhejiang, Hangzhou 311600, China)

Abstract:【Aim】*Anoplophora glabripennis* and *A. chinensis* often coexist, endanger the common hosts and share the same aggregation pheromones. The aim of this study is to evaluate the attractiveness of aggregation pheromones and host plant volatiles to the two long-horned beetle species.【Methods】The

基金项目: 林业公益性行业科研专项 (201304403)

作者简介: 朱宁, 女, 1990 年 2 月生, 江苏宿迁人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫化学生态学和害虫防治, E-mail: 471754369@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: fanjt123@sina.com

收稿日期 Received: 2017-01-05; 接受日期 Accepted: 2017-02-24

indoor feeding preference of *A. glabripennis* and *A. chinensis* adults on twigs of three host species, *Acer negundo*, *Salix babylonica* and *Melia azedarach*, was assayed by using feeding area method, and the components of host plant volatiles were analyzed by using dynamic headspace adsorption combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The trapping effects of aggregation pheromone and plant volatiles on these two species were investigated by field trapping tests in Yuyao and Cixi, Zhejiang. 【Results】The results of indoor choice and no-choice feeding experiments showed that the most preferred host plant of *A. glabripennis* was *A. negundo*, followed by *S. babylonica*, and then *M. azedarach*, while the preference order of *A. chinensis* to host plants was just opposite: the most preferred host plant was *M. azedarach*, followed by *S. babylonica*, and then *A. negundo*. In the host plant volatiles, there were many terpenoids and aromatic compounds, and each host species had several unique volatile components and there were significant differences in the volatile components among different host species. The results of the field trapping tests showed that the mixed formula MK (4-(n-heptyloxy)butan-1-ol + 4-(n-heptyloxy) butanal + camphene + *cis*-3-hexen-1-ol + ocimene + β-caryophyllene) of the aggregation pheromones and *M. azedarach* volatiles, aggregation pheromone formula M (4-(n-heptyloxy) butan-1-ol + 4-(n-heptyloxy) butanal), *M. azedarach* formula K (camphene + *cis*-3-hexen-1-ol + ocimene + β-caryophyllene) and *S. babylonica* formula L (nonanal) all trapped *A. glabripennis* and *A. chinensis* adults at the same time. Among them, the mixed formula MK of the aggregation pheromones and *M. azedarach* volatiles showed the best trapping effect on *A. glabripennis* and *A. chinensis* adults, and trapped more adults of both species than aggregation pheromones or plant volatiles alone. The proportion of females trapped by aggregation pheromones was higher than the proportion of males, while the proportion of males trapped by plant volatiles was higher than that of females. 【Conclusion】The study further confirms that 4-(n-heptyloxy)butan-1-ol and 4-(n-heptyloxy)butanal are the common aggregation pheromones shared by *A. glabripennis* and *A. chinensis*. Meanwhile, nonanal, camphene, *cis*-3-hexen-1-ol, ocimene and β-caryophyllene are the common plant volatiles shared by *A. glabripennis* and *A. chinensis*. The combination of aggregation pheromones and plant volatiles can be applied to the technology for monitoring *A. glabripennis* and *A. chinensis* in forests.

Key words: *Anoplophora glabripennis*; *Anoplophora chinensis*; feeding preference; pheromone; plant volatile; trapping

光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 和星天牛 *A. chinensis* 属鞘翅目(Coleoptera),天牛科(Cerambycidae),沟胫天牛亚科(Lamiinae),星天牛属 *Anoplophora*,是一类林木业危害性极大的蛀干害虫(萧刚柔, 1992)。据报道,光肩星天牛除西藏、青海、新疆、海南和台湾等 5 省区外,基本遍布全国各地。星天牛的分布也非常广泛,较早记录的分布范围包括河北、北京、山东、江苏、浙江、山西、陕西、甘肃、湖北、湖南、四川、贵州、福建、广东、香港、海南、广西,较晚记载的分布记录包括云南、江西、吉林、辽宁、台湾以及黑龙江(魏建荣等, 2011)。光肩星天牛在"三北"防护林危害最为严重,星天牛在我国南方的柑橘园区和防护林带发生较为严重(萧刚柔, 1992; 骆有庆等, 2000, 2002; 魏建荣等, 2011)。1992 年光肩星天牛随着木质包装材料传入美国和加拿大(Haack *et al*., 2010),随后入侵到欧洲、澳大利亚等地区。1980 年星天牛首次在荷兰截获,大多数是在活体植物上发现(Nehme *et al*., 2010)。目前,光肩星天牛已在北美定殖,在欧洲则是两种星天牛都已定殖(Haack *et al*., 2010)。光肩星天牛和星天牛都被欧洲和北美国家列为重要检疫对象,归到同等危险的级别(Macleod *et al*., 2002; Gaag *et al*., 2010)。光肩星天牛和星天牛世代周期长,经常混合发生,危害共同的寄主,寄主范围非常广泛,光肩星天牛的寄主至少有 15 个科,主要有杨属 *Populus*(杨柳科)、柳属 *Salix*(杨柳科)、槭属 *Acer*(无患子科)、榆属 *Ulmus*(榆科)。星天牛的寄主则更加广泛,至少包括 36 个科,主要有槭属 *Acer*(无患子科)、柑橘属 *Citrus*(芸香科)、紫薇属 *Lagerstroemia*(千屈菜科)、杨属 *Populus*(杨柳)、蔷薇属 *Rosa*(蔷薇科)、柳属 *Salix*(杨柳科)、榆属 *Ulmus*(榆科)等(萧刚柔, 1992; 黄竞芳等, 1992; Haack *et al*., 2010)。

目前,对光肩星天牛和星天牛的防治主要还是物理防治、化学防治和生物防治。其中生物防治主

要是释放天敌和种植引诱树种的研究（姚万军和杨忠岐，2008；秦凯伦，2009；孟祥志，2011）。由于光肩星天牛和星天牛幼虫隐蔽性强，寄主范围大，导致其防治难度增大，随着人们对环境和食品安全要求的提高，绿色高效无污染的生态防控技术越来越受到人们的青睐。

研究表明，昆虫在寻找寄主的识别过程中，寄主植物释放的挥发性次生物质起着关键的通讯引导作用，以此满足其对营养的需求，以便更好地生存和繁殖（Zhu，1999；Kessler and Baldwin，2001；Francis *et al.*，2004）。光肩星天牛对混交林中的不同品种的阔叶树种有选择性地取食和产卵，这说明寄主植物挥发性的气味中有特定的化学物质可以引诱光肩星天牛（李建光等，1999）。光肩星天牛雌性接触性信息素被鉴定为（*Z*）-9-二十三烯，（*Z*）-9-二十五烯，（*Z*）-7-二十五烯，（*Z*）-9-二十七烯和（*Z*）-7-二十七烯，以 1∶2∶2∶8∶1 的比例混合，能够引起雄性的交配行为（Zhang *et al.*，2003）。实验室行为试验显示，光肩星天牛雄虫产生的信息素 4-庚氧基丁醇和 4-庚氧基丁醛以 1∶1 的比例能显著吸引雌虫和雄虫（Zhang *et al.*，2002）。在雄性信息素中添加芳樟醇、顺-3-己烯-1-醇、β-石竹烯、氧化芳樟醇和松香芹醇能够增加对光肩星天牛雌虫的诱捕效果（Nehme *et al.*，2009，2010）。Wickham 等（2012）在光肩星天牛雌虫表皮中鉴定到庚醛、壬醛和十六醛 3 种醛类物质，在林间诱捕试验中对光肩星天牛表现出诱捕效果。Meng 等（2014）试验证明，信息素和植物源引诱物质的挥发速率和配比对光肩星天牛的诱捕效果具有显著的影响显著。

在星天牛的化学生态学方面，研究相对较少。苦楝等植物对星天牛有较强的引诱作用，可以作为引诱树进行林间防治（黄金水等，2001；刘佳敏和徐华潮，2014）。Yasui（2009）对星天牛定位配偶的过程进行了讨论，认为倍半萜类物质在远距离定位上发挥着作用，倍半萜和视觉在近距离定位上共同发挥作用，最后由接触信息素决定其是否交配。有趣的是，光肩星天牛的雄性信息素 4-庚氧基丁醇在星天牛雄性挥发物中也检测到，并且引起了星天牛雌虫和雄虫的触角电位反应，在林间同时诱捕到了星天牛的雌虫和雄虫（Hansen *et al.*，2015）。按照现有的认识，4-庚氧基丁醇能同时诱捕到雌性和雄性个体，在两性个体聚集和交配中发挥作用，应该被定义为聚集信息素。

目前为止，对星天牛具有引诱效果的植物挥发物还不明确，聚集信息素和植物挥发物之间是否有显著的增效作用，在光肩星天牛和星天牛的化学通讯机制中所扮演的角色等科学问题有待于进一步的阐明。本研究期望通过研究光肩星天牛和星天牛在寄主选择行为上的差异，寻找对其有引诱作用的关键成分，评价聚集信息素和植物挥发物对这两种星天牛的引诱作用，阐明其取食行为和化学感受机制上的差异，并为光肩星天牛和星天牛引诱剂的开发供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试虫源和植物

试验所用的光肩星天牛和星天牛成虫均采集于浙江省慈溪市沿海防护林（30°17′N，121°23′E，平均海拔 2.2 m）的柳树上，用捕虫网进行人工捕捉。防护林为垂柳 *Salix babylonica*、夹竹桃 *Nerium indicum*、海滨木槿 *Hibiscus hamabo*、木麻黄 *Casuarina equisetifolia*、苦楝 *Melia azedarach* 和白蜡 *Fraxinus chinensis* 等树种的混交林带，其中柳树受到光肩星天牛和星天牛危害最为严重。复叶槭 *Acer negundo*、青皮垂柳 *S. babylonica* 和苦楝 *M. azedarach* 等一年生枝条均采自于浙江农林大学生物测定中心旁的苗圃地。

1.2 诱捕试验样地

两种星天牛的野外诱捕试验在浙江省余姚市（30°13′N，121°02′E）和慈溪市（30°16′N，121°08′E）的沿海防护林样地进行。余姚样地主要树种为杨树 *Populus euramevicana*、垂柳 *S. babylonica*、夹竹桃 *N. indicum*、海滨木槿 *H. hamabo*、苦楝 *M. azedarach* 和无患子 *Sapindus mukorossi* 等树种的混交林带，其中垂柳受星天牛等天牛危害严重，虫株率达 82.45%，平均虫口密度为 3.61 头/株。慈溪样地主要树种为垂柳 *S. babylonica*、夹竹桃 *N. indicum*、海滨木槿 *H. hamabo*、木麻黄 *C. equisetifolia*、黄山栾树 *Koelreuteria Integrifoliola*、苦楝 *M. azedarach*、构树 *Broussonetia papyrifera* 和白蜡 *F. chinensis* 等树种，其中垂柳受光肩星天牛、星天牛和桑天牛等天牛危害严重，虫株率达 89.23%，平均虫口密度为 4.35 头/株，木麻黄受星天牛危害较重，虫株率达 22.37%，平均虫口密度为 1.17 头/株。

1.3 室内取食试验

两种星天牛的取食试验在生物测定中心的养虫室（25 ~ 28℃，光周期14L∶10D）进行。取食试验分

为非选择性取食试验和选择性取食试验,其中非选择性取食试验,在木质养虫笼(50 cm×40 cm×40 cm)内分别放入两根复叶槭、青皮垂柳和苦楝的一年生枝条(长30 cm×直径1 cm),每个养虫笼内再各放入饥饿5 h且活性较好的同种星天牛成虫1对(1雌+1雄),重复5次;选择性取食试验,将上述3种一年生枝条各两根放入同一个养虫笼内,每个养虫笼再放入饥饿5 h且活性较好的同种星天牛成虫1对(1雌+1雄),重复5次。待取食48 h后,用透明硫酸纸记录下枝条上的取食刻痕,然后用网格坐标纸计算出取食面积。

1.4 植物挥发物的收集与分析

采用动态顶空吸附法分别抽取复叶槭、青皮垂柳和苦楝枝条的挥发物。具体收集和气质联用仪分析方法参见(张冬勇等, 2016)

1.5 野外诱捕试验

光肩星天牛和星天牛的野外诱捕试验在浙江省余姚市(30°13′N, 121°02′E)和慈溪市(30°16′N, 121°08′E)的沿海防护林进行。我们设置了植物源引诱物质、聚集信息素以及植物源和聚集信息素混配等不同的处理,试验中化合物使用的剂量参考Meng等(2014)(表2)。

将供试化合物分别滴加在纤维片(350 mm×20 mm×2 mm)上,然后通过聚乙烯袋(100 mm×80 mm×0.08 mm)进行释放。每个处理和对照都设置5个重复,对照采用不添加任何化合物的缓释袋。将BF-1型天牛诱捕器(杭州费洛蒙生物科技有限公司,杭州)悬挂在通风良好的林道两边或边缘,每两个诱捕器间距20 m,下端收集杯距离地面1 m,缓释袋悬挂在诱捕器的凹槽处。诱捕器采用样地内循环法,在小样地内每个处理悬挂1个诱捕器,共设置5个小样地,即5个重复。小样地内的诱捕器悬挂顺序采用随机的方式,每次调查时在小样地内轮换一次诱芯的位置,即将第1个缓释袋换到第2个诱捕器上,第2个缓释袋换到第3个诱捕器上,以此类推,以减少不同地理位置对试验结果造成的影响。该实验于2015年5月22日开始,8月12日结束,每周调查一次,缓释袋每月更换一次,详细记录每个诱捕器诱捕到的天牛种类、雌雄比等信息。

表1 本研究所用化合物纯度及生产厂家

Table 1 Purity and manufacturer of compounds used in this study

化合物 Compound	纯度(%) Purity	厂家 Manufacturer
壬醛 Nonanal	95	Fluka
苯乙烯 Styrene	98	Aldrich
月桂烯 β-Myrcene	98	Fluka
乙酸叶醇酯 *Cis*-3-Hexenylacetate	98	Aldrich
苯乙酮 Acetophenone	98	Fluka
莰烯 Camphene	97	Aldrich
顺-3-己烯-1-醇 *Cis*-3-Hexen-1-ol	98	Acros
罗勒烯 Ocimene	97	Fluka
β-石竹烯 β-Caryophyllene	90	Aldrich
4-庚氧基丁醇 4-(n-Heptyloxy)butan-1-ol	98	Fluka
4-庚氧基丁醛 4-(n-Heptyloxy)butanal	98	Fluka

表2 光肩星天牛和星天牛成虫诱捕试验所用化合物

Table 2 Compounds employed in the trapping tests for *Anoplophora glabripennis* and *A. chinensis* adults

处理 Treatment	化合物 Compound	容量 Volume	配比 Ratio	纯度(%) Purity	重复 Repeat	释放装置 Release device
L	壬醛 Nonanal	2 mL	–	>95	5	缓释袋 Polyethylene bag
Q	苯乙烯+月桂烯+乙酸叶醇酯+苯乙酮 Styrene + β-myrcene + *cis*-3-hexenylacetate + acetophenone	2 mL	8:86:5:10*	–	5	缓释袋 Polyethylene bag
K	莰烯+顺-3-己烯-1-醇+罗勒烯+β-石竹烯 Camphene + *cis*-3-hexen-1-ol + ocimene + β-caryophyllene	2 mL	14:26:27:45*	–	5	缓释袋 Polyethylene bag
M	4-庚氧基丁醇+4-庚氧基丁醛 4-(n-Heptyloxy)butan-1-ol + 4-(n-heptyloxy)butanal	300 μL	1:1	–	5	缓释袋 Polyethylene bag
MK	M + K	300 μL + 2 mL	–	–	5	缓释袋 Polyethylene bag
CK	空白对照 Blank control	–	–	–	5	缓释袋 Polyethylene bag

* 选取不同寄主特有的挥发性成分,并按照其在原挥发物中的比例进行配比。* It was prepared with the unique volatile components of different host species according to the original ratio.

1.6　统计分析

用统计软件 SPSS16.0 进行数据分析，不同寄主之间取食量的差异、不同寄主挥发物之间及不同处理之间诱捕量的差异显著性都通过方差（ANOVA）分析，采用 Duncan 氏比较法。

2　结果

2.1　室内取食试验

2.1.1　光肩星天牛室内取食试验：光肩星天牛的室内取食试验结果显示，光肩星天牛对复叶槭、青皮垂柳和苦楝 3 种寄主植物枝条的取食偏好性呈显著性差异。在非选择性取食试验中，光肩星天牛最喜食复叶槭，平均取食量达 8.9 cm^2/头，青皮垂柳次之，苦楝最少，3 种寄主的取食量之间差异显著；在选择性取食试验中，光肩星天牛最喜食的仍是复叶槭，青皮垂柳次之，而苦楝的取食量为 0，不同寄主间的枝条取食量差异也达到显著水平（图 1）。

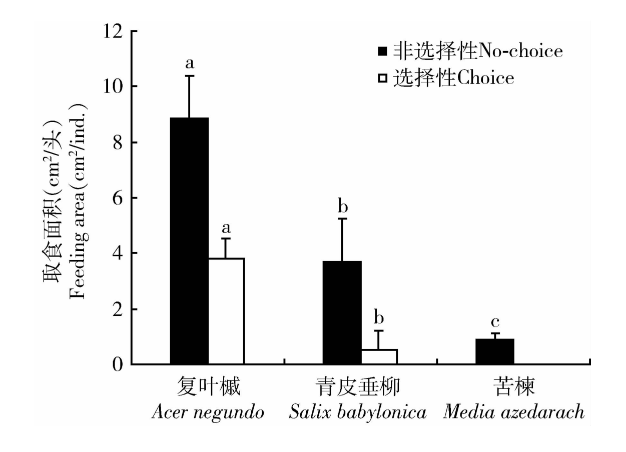


图 1　光肩星天牛成虫对 3 种寄主植物枝条的非选择性取食试验和选择性取食试验

Fig. 1　No-choice and choice feeding assays of *Anoplophora glabripennis* adults on the twigs of three host species

图中数据为平均值 ± 标准误，柱上不同字母代表光肩天牛在不同寄主间取食量差异显著（P < 0.05，Duncan 氏多重比较）；图 2 同。Data in the figure are mean ± *SE*. Different letters above bars indicate that the feeding areas of *A. glabripennis* on different host species are significantly different（P < 0.05，Duncan's multiple range test）. The same for Fig. 2.

2.1.2　星天牛室内取食试验：星天牛的室内取食试验结果显示，星天牛对复叶槭、青皮垂柳和苦楝 3 种寄主植物枝条的取食偏好性存在显著性差异。在非选择性取食试验中，星天牛取食喜好顺序为：苦楝 > 青皮垂柳 > 复叶槭，且不同寄主植物间枝条的取食量存在显著性差异；选择性取食试验结果显示，星天牛最喜食的仍是苦楝，青皮垂柳次之，而复叶槭的取食量为 0。两个取食试验的结果都表明，苦楝是星天牛最喜食的寄主植物（图 2）。

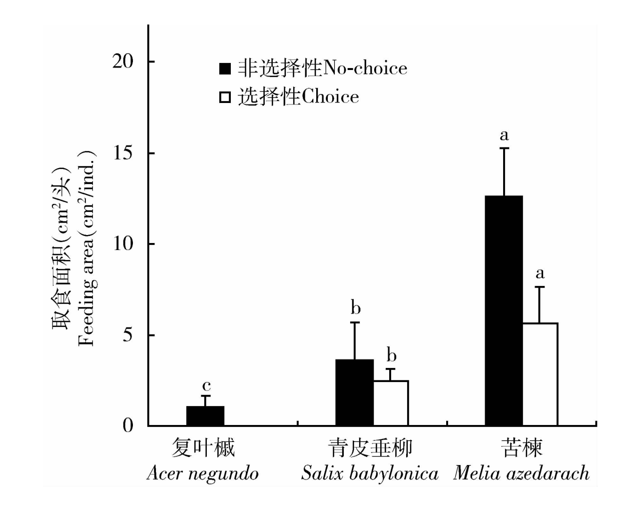


图 2　星天牛对 3 种寄主植物枝条的非选择性取食试验和选择性取食试验

Fig. 2　No-choice and choice feeding assays of *Anoplophora chinensis* adults on the twigs of three host species

2.2　寄主植物挥发物成分分析

表 3 显示，复叶槭、青皮垂柳和苦楝 3 种寄主植物挥发物成分分别检测到 12，9 和 11 种化合物，以烯烃类和烷烃类化合物居多。3 种寄主植物挥发物中多种成分存在显著性差异，其中苯乙烯、月桂烯、乙酸叶醇酯和苯乙酮只在复叶槭种检测到；壬醛只在青皮垂柳种检测到，复叶槭和苦楝都没有检测到；莰烯、顺-3-己烯-1-醇、罗勒烯和 β-石竹烯只在苦楝中检测到；β-蒎烯只在复叶槭和青皮垂柳种检测到，且 β-蒎烯在青皮垂柳中的含量显著高于复叶槭。3-蒈烯在青皮垂柳和苦楝中的含量显著高于复叶槭中的含量，且青皮垂柳和苦楝中的含量没有显著性差异；α-蒎烯在苦楝中的含量显著高于复叶槭和青皮垂柳中的含量，而在复叶槭和青皮垂柳中的含量没有显著性差异；2-乙基-1-己醇在复叶槭和苦楝中的含量显著高于青皮垂柳中的含量；十一烷、十三烷和十四烷在 3 种寄主植物中的含量没有显著性差异；而 D-樟脑在 3 种寄主植物中的含量存在显著性差异，其中在复叶槭中的含量最高。

2.3　野外诱捕试验

2015 年在浙江余姚进行的野外诱捕试验结果显示，这 5 种配方诱捕到的天牛都是星天牛。其中，聚集信息素和苦楝挥发物的混合配方 MK（4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛 + 莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 +

表 3 3 种寄主植物挥发物成分的含量(μg/L)

Table 3 Contents (μg/L) of chemical components of volatiles from three host plants

化合物 Compound	复叶槭 *Acer negundo*	青皮垂柳 *Salix babylonica*	苦楝 *Melia azedarach*
苯乙烯 Styrene	8.49 ± 1.58	0	0
3-蒈烯 3-Carene	3.89 ± 0.88 b	11.25 ± 2.27 a	16.80 ± 6.86 a
α-蒎烯 α-Pinene	74.36 ± 3.80 b	85.04 ± 1.66 b	99.65 ± 7.16 a
莰烯 Camphene	0	0	14.06 ± 1.37
顺-3-己烯-1-醇 *Cis*-3-Hexen-1-ol	0	0	25.98 ± 2.80
β-蒎烯 β-Pinene	9.20 ± 0.75 b	26.96 ± 0.53 a	0
月桂烯 β-Myrcene	85.89 ± 5.65	0	0
乙酸叶醇酯 *Cis*-3-Hexenylacetate	5.44 ± 0.47	0	0
苯乙酮 Acetophenone	10.08 ± 2.02	0	0
2-乙基-1-己醇 2-Ethyl-1-hexanol,	129.45 ± 1.24 a	81.58 ± 1.60 b	115.83 ± 4.40 a
罗勒烯 Ocimene	0	0	27.10 ± 16.60
十一烷 Undecane	27.41 ± 4.80 a	19.76 ± 4.29 a	19.35 ± 5.21 a
壬醛 Nonanal	0	19.04 ± 1.86	0
D-樟脑 D-Camphor	98.49 ± 5.98 a	73.98 ± 1.45 c	89.29 ± 12.04 b
十三烷 Tridecane	75.28 ± 15.20 a	67.43 ± 12.59 a	70.72 ± 7.83 a
十四烷 Tetradecane	57.52 ± 3.78 a	50.45 ± 2.53 a	51.04 ± 6.02 a
β-石竹烯 β-Caryophyllene	0	0	45.49 ± 4.64

表中数据为平均值 ± 标准误,同一行数据后标有不同字母表示挥发物成分在不同寄主植物之间差异性显著($P < 0.05$, Duncan 氏多重比较)。The data in the table are mean ± *SE*, and those in a row followed by different letters indicate that the volatile components are significantly different between different host plants ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test).

罗勒烯 + β-石竹烯)对星天牛的诱捕效果最好,每个诱捕器每周的平均诱捕量为 4.6 头,而复叶槭挥发物配方 Q(苯乙烯 + 月桂烯 + 乙酸叶醇酯 + 苯乙酮)的诱捕效果最差,对星天牛的平均诱捕量为 0,5 种配方对星天牛的引诱效果依次为:MK > M > K > L > Q。聚集信息素配方 M(4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛)诱捕到的星天牛中,雌虫的比例更高,而含有植物源成分的配方 MK(4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛 + 莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯)、配方 K(莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯)和配方 L(壬醛)3 种配方诱捕到的星天牛中,雄虫所占比例更高(图 3)。

2015 年在浙江慈溪进行的野外诱捕试验结果显示,在 5 种配方中,有 4 种配方同时诱捕到了光肩星天牛和星天牛。对光肩星天牛而言,聚集信息素和苦楝挥发物的混合配方 MK(4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛 + 莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯)对光肩星天牛的引诱效果最好,平均诱捕量为每个诱捕器每周 3.4 头,其次是聚集信息素配方 M(4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛),而在 3 种寄主植物挥发物配方中,复叶槭挥发物配方 Q(苯乙烯 + 月桂烯 + 乙酸叶醇酯 + 苯乙酮)最好,其次是柳树配方 L(壬醛),最后是苦楝配方 K(莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯),后者对光肩星天牛的平均诱捕量为每个诱捕器每周 0.6 头。综上所述,5 种配方对光肩星天牛的引诱效果依次为:MK > M > Q > L > K, CK(对照)没有诱捕到任何天牛(图 4)。

对星天牛而言,诱捕效果最好的是聚集信息素和苦楝挥发物的混合配方 MK(4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛 + 莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯)和单独的苦楝挥发物配方 K(4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛),每个诱捕器每周诱捕量为 1.6 头,两者之间没有显著差异;在 3 种寄主植物挥发物配方中,苦楝配方 K(莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯)最好,其次是柳树配方 L(壬醛),最后是复叶槭配方 Q(苯乙烯 + 月桂烯 + 乙酸叶醇酯 + 苯乙酮),后者对星天牛的诱捕量为 0。综上所述,5 种配方对星天牛的诱捕效果依次为 MK = K > M > L > Q,而 CK(对照)既没有诱到光肩星天牛也没有诱到星天牛。

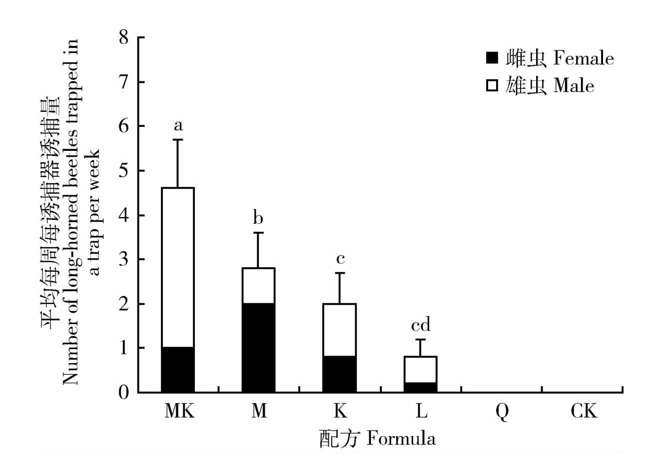


图 3　2015 年聚集信息素和植物挥发物的混合配方对星天牛的野外诱捕结果(浙江余姚)

Fig. 3　Trapping results of the mixed formulae of aggregation pheromones and plant volatiles to *Anoplophora chinensis* in Yuyao, Zhejiang in 2015

MK：4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛 + 莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯 4-(n-Heptyloxy) butan-1-ol + 4-(n-heptyloxy) butanal + camphene + *cis*-3-hexen-1-ol + ocimene + β-caryophyllene；M：4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛 4-(n-Heptyloxy) butan-1-ol + 4-(n-heptyloxy) butanal；K：莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯 Camphene + *cis*-3-hexen-1-ol + ocimene + β-caryophyllene；L：壬醛 Nonanal；Q：苯乙烯 + 月桂烯 + 乙酸叶醇酯 + 苯乙酮 Styrene + β-myrcene + *cis*-3-hexenylacetate + acetophenone；CK：不添加任何化合物的缓释袋 Polyethylene bags without any compound. 野外诱捕试验于 2015 年 5 月 22 日开始，8 月 12 日结束，缓释袋每月更换一次，每周调查一次，详细记录每个诱捕器诱捕到的天牛种类、雌雄比等信息。图 4 同。The field trapping test lasted from May 22 to August 12, 2015. The polyethylene bags were replaced once a month. The species of the long-horned beetles trapped in a trap and the ratio of females to males were investigated once a week. The same for Fig. 4. 柱上不同字母代表不同配方对星天牛的诱捕结果(平均值 ± 标准误)之间差异显著($P<0.05$, Duncan 氏多重比较)。Different letters above bars indicate that the trapping results (mean ± *SE*) of different formulae to *A. chinesis* are significantly different ($P<0.05$, Duncan's multiple range test).

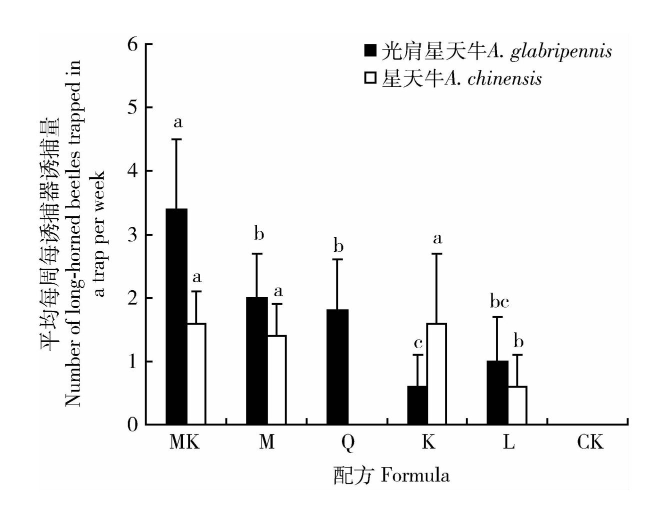


图 4　2015 年聚集信息素和植物挥发物混合配方对光肩星天牛和星天牛的野外诱捕结果(浙江慈溪)

Fig. 4　Trapping results of the mixed formulae of aggregation pheromones and plant volatiles to *Anoplophora glabripennis* and *A. chinensis* in Cixi, Zhejiang in 2015

柱上不同字母代表不同配方对光肩星天牛和星天牛的诱捕结果(平均值 ± 标准误)差异显著($P<0.05$, Duncan 氏多重比较)。Different letters above bars indicate that the trapping results (mean ± *SE*) of different formulae to *A. glabripennis* and *A. chinensis* are significantly different ($P<0.05$, Duncan's multiple range test).

在慈溪诱捕到的光肩星天牛中，聚集信息素配方 M(4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛)和含有聚集信息素的配方 MK(4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛 + 莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯)诱捕到的雌虫比例更高，而植物源成分的 3 种配方诱捕到的雄虫比例更高，其中苦楝挥发物配方 K(莰烯 + 顺-

3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯）诱捕到的光肩星天牛全为雄虫。诱捕到的星天牛性比也表现出与光肩星天牛相一致的特点，含有聚集信息素的配方诱捕到的雌虫比例更高，植物挥发物诱捕到的雄虫比例更高，其中复叶槭挥发物配方 Q（苯乙烯 + 月桂烯 + 乙酸叶醇酯 + 苯乙酮）诱捕到的星天牛也全都是雄虫（表 4）。

表 4 2015 年浙江慈溪野外试验中诱捕到的光肩星天牛和星天牛雌性比例 *

Table 4 Female proportion of *Anoplophora glabripennis* and *Anoplophora chinensis* trapped in the field in Cixi, Zhejiang in 2015

天牛种类 Long-horned beetle species	MK	M	Q	K	L	CK
光肩星天牛 *A. glabripennis*	0.82	0.60	0.22	0	0.40	–
星天牛 *A. chinensis*	0.75	0.71	0	0.38	0.33	–

MK：4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛 + 莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯 4-(n-Heptyloxy)butan-1-ol + 4-(n-heptyloxy)butanal + camphene + *cis*-3-hexen-1-ol + ocimene + β-caryophyllene；M：4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛 4-(n-Heptyloxy)butan-1-ol + 4-(n-heptyloxy)butanal；K：莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯 Camphene + *cis*-3-hexen-1-ol + ocimene + β-caryophyllene；L：壬醛 Nonanal；Q：苯乙烯 + 月桂烯 + 乙酸叶醇酯 + 苯乙酮 Styrene + β-myrcene + *cis*-3-hexenylacetate + acetophenone；CK：不添加任何化合物的缓释袋 Polyethylene bags without any compound；–：未诱捕到天牛 No beetles trapped. 野外诱捕试验于 2015 年 5 月 22 日开始，8 月 12 日结束，缓释袋每月更换一次，每周调查一次，详细记录每个诱捕器诱捕到的天牛种类、雌雄比等信息。The field trapping test lasted from May 22 to August 12, 2015. The polyethylene bags were replaced once a month. The species of the long-horned beetles trapped in a trap and the ratio of females to males were investigated once a week. * 雌性比例为雌虫数量在雌雄虫总数中所占比例 The female proportion is the proportion of the number of females in the total number of males and females.

3 结论与讨论

不同寄主植物对两种星天牛的选择性取食试验和非选择性取食试验结果都表明，复叶槭是光肩星天牛最喜食的树种，其次是青皮垂柳，最不喜欢的是苦楝；而星天牛在这 3 种寄主的取食偏好性上表现出与光肩星天牛相反的结果，最喜食的树种是苦楝，其次是青皮垂柳，最不喜欢的是复叶槭。槭属植物是光肩星天牛寄主植物中最喜食的树种（李建光等，1999；Haack *et al*.，2010）。罗亚萍（2013）测试了光肩星天牛对苦楝、木麻黄、柳树和黄山栾树等 4 种不同寄主的取食行为，结果显示，苦楝是其最喜食的树种，但是测试的 4 种寄主植物里不包括复叶槭和青皮垂柳。在三北防护林，复叶槭被用做光肩星天牛的诱饵树，进行多树种合理配置，降低天牛对目标树种的风险压力，控制杨树天牛的暴发和灾害（骆有庆等，2000；Li *et al*.，2003）。复叶槭原产北美地区，近几十年来逐渐引种到我国东北、华北、内蒙古、新疆至长江流域。我们在浙江地区的试验进一步验证了复叶槭是光肩星天牛最喜食的一个树种。

黄金水等（2001）研究发现，苦楝的浸提液在室内行为试验中显示出对星天牛较强的引诱能力；但 Peverieri 和 Roversi（2010）报道星天牛喜食槭属枝条，这可能与他们在试验中设置的寄主种类有关，他们测试了槭属、榛属、七叶树属、悬铃木属、榆属和椴属等寄主植物。苦楝也作为诱饵树在沿海防护林中种植，结合喷药防治，取得了较好的防治效果（何学友等，2003）。合理配置诱饵树种已成为防控天牛的一种重要技术（骆有庆等，2002）。因此根据当地星天牛种类，可以适当地套种复叶槭或者苦楝作为诱饵树种，在天牛补充营养时进行集中诱杀，以减少对经济林中目标树种造成的危害。

在慈溪的野外诱捕试验中，苦楝挥发物配方 K（莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯）和柳树挥发物配方 L（壬醛）都同时诱捕到了光肩星天牛和星天牛，这说明壬醛、莰烯、顺-3-己烯-1-醇、罗勒烯和 β-石竹烯等 5 种化合物是光肩星天牛和星天牛共享的植物挥发物。

在浙江余姚和慈溪进行的野外诱捕试验中，诱捕到的光肩星天牛和星天牛在性比上都表现出相同的特点，聚集信息素诱捕到的天牛中雌虫比例较高，而植物挥发物诱捕到的天牛中雄虫比例比较高。Zhang 等（2002）将 4-庚氧基丁醇和 4-庚氧基丁醛按 1∶1 的比例混合，通过 Y 型嗅觉仪的试验结果表明，光肩星天牛的雌虫能够产生明显的嗅觉反应。Nehme 等（2009）通过 Y 型嗅觉仪证明，4-庚氧基丁醇和 4-庚氧基丁醛对光肩星天牛雌虫相对于雄虫更具有吸引作用，而顺-3-己烯-1-醇、β-石竹烯和 3-蒈烯等寄主挥发物能够引起光肩星天牛雄虫更加显著的嗅觉反应。Nehme 等（2010）通过野外试验表明，聚集信息素 4-庚氧基丁醇和 4-庚氧基丁醛和植物源成分芳樟醇、顺-3-己烯-1-醇、氧化芳樟醇和 β-石竹烯混合使用，诱捕到的光肩星天牛雌虫明显比雄虫多。

在慈溪野外诱捕试验中，聚集信息素和苦楝挥发物混合后，对光肩星天牛表现出比苦楝挥发物和聚集信息素单独使用更高的诱捕效果，而且在余姚的野外试验中，聚集信息素和苦楝挥发物混合后，也表现出比两类化合物单独使用诱捕效果更好；但是慈溪试验中，聚集信息素和苦楝挥发物混合后，与两者单独使用诱捕效果差异不显著。如果慈溪试验将两种星天牛诱捕总量综合统计，聚集信息素和苦楝挥发物混合后，仍然显示出比两者单独使用更高的诱捕效果。Meng 等（2014）通过野外试验证明，将聚集信息素成分的 4-庚氧基丁醇和 4-庚氧基丁醛和植物源成分的芳樟醇、β-石竹烯和顺-3-己烯-1-醇混合使用，明显比单独使用聚集信息素或 3 种植物源成分诱捕到的光肩星天牛多。

在 3 种寄主植物中，光肩星天牛最喜食复叶槭，而在慈溪的野外诱捕试验中，按照复叶槭挥发物特有成分制作的配方 Q（苯乙烯 + 月桂烯 + 乙酸叶醇酯 + 苯乙酮）对光肩星天牛也表现出比另外两种寄主植物配方更高的诱捕活性。苦楝是星天牛在 3 种寄主植物中最喜欢的树种，根据苦楝特有成分配置的配方 K（莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯）对星天牛的诱捕效果也是 3 种寄主挥发物配方中最好的，可见寄主植物特有的挥发物成分在两种星天牛定位寄主植物中扮演着重要的角色，是配制植物源引诱剂的主要成分之一。

综上所述，聚集信息素配方 M（4-庚氧基丁醇 + 4-庚氧基丁醛）与苦楝挥发物配方 K（莰烯 + 顺-3-己烯-1-醇 + 罗勒烯 + β-石竹烯）混合后，对光肩星天牛和星天牛都表现出比单独使用两类物质更高的诱捕效果。我们的试验也证明，光肩星天牛和星天牛存在共享的聚集信息素 4-庚氧基丁醇和 4-庚氧基丁醛，而且共享相同的植物源成分壬醛、莰烯、顺-3-己烯-1 醇、罗勒烯和 β-石竹烯。影响昆虫引诱剂林间诱捕效果的因素主要有 3 个方面，第一，有效引诱物质的鉴定和科学配比；第二，引诱物质的缓释装置，控制其合理的挥发速率；第三，诱捕装置，收纳诱捕到的昆虫和防止其再次逃逸。因此，优化针对光肩星天牛和星天牛的聚集信息素和植物源成分的配比，筛选合适的缓释装置和诱捕装置，都有待进一步的研究。另外，对于诱捕效果的评价，一种是在同样条件下不同引诱剂之间效果的相对比较，另一种是调查林地种群基数，结合诱捕效果，进行综合评价。相同的引诱剂在不同的年份之间引诱效果也可能会有很大的差异（Wickham *et al*., 2012），这跟种群基数在不同年份的变化有很大关系，所以，结合种群基数调查更能反映引诱剂的实际防效，但是林地种群基数，一般是通过调查寄主植物上的排粪孔来代表天牛幼虫的虫口密度，调查时间、调查方法、幼虫自然死亡率、幼虫种类、发生代数等因素都有可能影响对成虫种群基数的准确预测，如何建立一种科学的数学模型，对引诱剂诱捕效果进行更加准确的评价，值得进一步的探索。

参考文献（References）

Francis F, Lognay G, Haubruge E, 2004. Olfactory responses to aphid and host plant volatile releases: (*E*)-beta-farnesene an effective kairomone for the predator *Adalia bipunctata*. *J. Chem. Ecol.*, 30(4): 741 – 755.

Gaag DJ, Sinatra G, Roversi PF, Loomans A, Hérard F, Vukadin A, 2010. Evaluation of eradication measures against *Anoplophora chinensis*, in early stage infestations in Europe. *Bull. OEPP/EPPO Bull.*, 40(2): 176 – 187.

Haack RA, Hérard F, Sun JH, Turgeon JJ, 2010. Managing invasive populations of Asian longhorned beetle and citrus longhorned beetle: a worldwide perspective. *Ann. Rev. Entomol.*, 55: 521 – 546.

Hansen L, Xu T, Wickham J, Chen Y, Hao D, Hanks LM, Millar JG, Teale SA, 2015. Identification of a male-produced pheromone component of the citrus longhorned beetle, *Anoplophora chinensis*. *PLoS ONE*, 10(8): e0134358.

He XY, Huang JS, Ye JX, Huang YQ, Gao ML, Ding B, Zeng GQ, Xu YC, Li WX, Kang WT, 2003. Studies on the *Anoplophora chinensis* behavior and control technique Ⅱ. Study on the *A. chinensis* control technique. *J. Fujian For. Sci. Technol.*, 30(2): 1 – 4. [何学友，黄金水，叶剑雄，黄衍庆，高美玲，丁珌，曾国强，徐耀昌，李文宣，康文通，2003. 星天牛行为及控制技术研究Ⅱ. 星天牛控制技术的研究. 福建林业科技，30(2): 1 – 4]

Huang JF, Luo YQ, Zhou ZY, 1992. New progress in *Anoplophora glabripennis* Motsch study in China. *Shaanxi For. Sci. Technol.*, (2): 57 – 62. [黄竞芳，骆有庆，周章义，1992. 中国光肩星天牛研究的新进展. 陕西林业科技，(2): 57 – 62]

Huang JS, He XY, Ye JX, Huang YQ, Gao ML, 2001. Studies on the control of *Anoplophora chinensis* (F.) by alluring adult with *Melia azedarach*. *Sci. Silv. Sin.*, 37(4): 58 – 64. [黄金水，何学友，叶剑雄，黄衍庆，高美玲，2001. 苦楝引诱防治星天牛研究. 林业科学，37(4): 58 – 64]

Kessler A, Baldwin IT, 2001. Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science*, 291(5511): 2141 – 2144.

Li DJ, Tokoro M, Nacashima T, 1999. Mechanism of adult action and mating in *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). *J. Beijing For. Univ.*, 21(4): 33 – 36.

Li JG, Jin YJ, Luo YQ, Xu ZC, Chen HJ, 2003. Leaf volatiles from host tree *Acer negundo*: diurnal rhythm and behavior responses of *Anoplophora glabripennis* to volatiles in field. *Acta Bot. Sin.*, 45

(2): 177 – 182.

Li JG, Luo YQ, Jin YJ, 1999. Electroantennogram activity of ash leaf maple (*Acer negundo*) volatiles to *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). *J. Beijing For. Univ.*, 21(4): 1 – 5. [李建光, 骆有庆, 金幼菊, 1999. 复叶槭挥发性物质对光肩星天牛的触角电位反应. 北京林业大学学报, 21(4): 1 – 5]

Liu JM, Xu HC, 2014. Attractiveness of *Melia azedarach* to *Anoplophora glabripennis*. *J. Zhejiang A&F Univ.*, 31(3): 437 – 441. [刘佳敏,徐华潮, 2014. 苦楝对星天牛的引诱研究. 浙江农林大学学报, 31(3): 437 – 441]

Luo YP, 2013. The Host Choice Behavior of *Anoplophora glabripennis* and the Research of Lure from Host. MSc Thesis, Zhejiang A&F University, Lin'an, Zhejiang. [罗亚萍, 2013. 光肩星天牛的寄主选择行为和植物源引诱剂研究. 浙江临安: 浙江农林大学硕士学位论文]

Luo YQ, Huang JF, Li JG, 2000. Central achievements problems and prospects on poplar longhorned beetle in China. *Entomol. Knowl.*, 37(2): 116 – 122. [骆有庆, 黄竞芳, 李建光, 2000. 我国杨树天牛研究的主要成就、问题及展望. 昆虫知识, 37(2): 116 – 122]

Luo YQ, Liu RG, Xu ZC, Sun CC, Wen JB, 2002. Theories and technologies of ecologically regulating poplar longhorned beetle disaster in shelter forest. *J. Beijing For. Univ.*, 24(6): 160 – 164. [骆有庆, 刘荣光, 许志春, 孙长春, 温俊宝, 2002. 防护林杨树天牛灾害的生态调控理论与技术. 北京林业大学学报, 24(6): 160 – 164]

MacLeod A, Evans HF, Baker RHA, 2002. An analysis of pest risk from an Asian longhorn beetle (*Anoplophora glabripennis*) to hardwood trees in the European community. *Crop Prot.*, 21(8): 635 – 645.

Meng PS, Trotter TR, Keena MA, Baker TC, Yan S, Schwartzberg EG, Hoover K, 2014. Effects of pheromone and plant volatile release rates and ratios on trapping *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) in China. *Environ. Entomol.*, 43(5): 1379 – 1388.

Meng XZ, 2011. Technological study on chemical control of *Anoplophora glaripennis*. *J. Shanxi Agric. Sci.*, 39(3): 273 – 275. [孟祥志, 2011. 光肩星天牛化学防治技术研究. 山西农业科学, 39(3): 273 – 275]

Nehme ME, Keena MA, Zhang A, Baker TC, Hoover K, 2009. Attraction of *Anoplophora glabripennis* to male-produced pheromone and plant volatiles. *Environ. Entomol.*, 38(6): 1745 – 1755.

Nehme ME, Keena MA, Zhang A, Baker TC, Xu Z, Hoover K, 2010. Evaluating the use of male-produced pheromone components and plant volatiles in two trap designs to monitor *Anoplophora glabripennis*. *Environ. Entomol.*, 39(1): 169 – 176.

Peverieri GS, Roversi PF, 2010. Feeding and oviposition of *Anoplophora chinensis* on ornamental and forest trees. *Phytoparasitica*, 38(5): 421 – 428.

Qin KL, 2009. Study on the Bionomics and Control of Technology of *Anoplophora glabripennis* in Harbin. MSc Thesis, Northeast Forestry University, Harbin. [秦凯伦, 2009. 哈尔滨地区光肩星天牛(*Anoplophora glabripennis* (Motschulsky))发生动态及防治技术研究. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文]

Wei JR, Zhao WX, Zhang YA, 2011. Research progress on *Anoplophora chinensis*. *Plant Quarantine*, 25(5): 81 – 85. [魏建荣, 赵文霞, 张永安, 2011. 星天牛研究进展. 植物检疫, 25(5): 81 – 85]

Wickham JD, Xu ZC, Teale SA, 2012. Evidence for a female-produced, long range pheromone of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae). *Insect Sci.*, 19(3): 355 – 371.

Xiao GR, 1992. Forest Insects of China. 2nd ed. China Forestry Press, Beijing. 454 – 455. [萧刚柔, 1992. 中国森林昆虫(第 2 版). 北京: 中国林业出版社. 454 – 455]

Yao WJ, Yang ZQ, 2008. Studies on biological control of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) with a parasitoid, *Sclerodermus guani* (Hymenoptera: Bethylidae). *J. Environ. Entomol.*, 30(2): 127 – 134. [姚万军, 杨忠岐, 2008. 利用管氏肿腿蜂防治光肩星天牛技术研究. 环境昆虫学报, 30(2): 127 – 134]

Yasui H, 2009. Chemical communication in mate location and recognition in the white-spotted longicorn beetle, *Anoplophora* (Coleoptera: Cerambycidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 44(2): 183 – 194.

Zhang A, Oliver JE, Aldrich JR, Wang B, Mastro VC, 2002. Stimulatory beetle volatiles for the Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky). *Z. Naturforsch.*, 57c: 553 – 558.

Zhang AJ, Oliver JE, Chauhan K, Zhao BG, Xia LQ, Xu ZC, 2003. Evidence for contact sex recognition pheromone of the Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae). *Naturwissenschaften*, 90(9): 410 – 413.

Zhang DY, Liu JD, Wang JY, Zhu N, Xu HC, Fan JT, 2016. Two plant compound lures for trapping *Batocera horsfieldi* (Hope) in the field. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 53(4): 856 – 863. [张冬勇, 柳建定, 王菊英, 朱宁, 徐华潮, 樊建庭, 2016. 两种对云斑天牛有林间诱捕效果的植物源物质. 应用昆虫学报, 53(4): 856 – 863]

Zhu J, Cossé AA, Obrycki JJ, Boo KS, Baker TC, 1999. Olfactory reactions of the twelve-spotted lady beetle, *Coleomegilla maculata* and the green lacewing, *Chrysoperla carnea* to semiochemicals released from their prey and host plant: electroantennogram and behavioral responses. *J. Chem. Ecol.*, 25(5): 1163 – 1177.

(责任编辑: 赵利辉)